

確率共鳴現象を用いた超伝導メモリシステムの消費電力の低減

Power Reduction of Superconductive Memory System Using Stochastic Resonance

横国大院工 ○木原 涼輔, 山梨 裕希, 吉川 信行

College of Engineering, Yokohama National Univ.,

○Ryosuke Kihara, Yuki Yamanashi, and Nobuyuki Yoshikawa

E-mail: kihara-ryosuke-mz@ynu.jp

1. はじめに

近年、超伝導回路を微細化に伴い、熱雑音による回路への悪影響が問題となっている。そこで、雑音を抑制・減少するのではなく、多様な雑音誘起現象を用いたデバイスへ応用していく研究が提案されている[1]。本研究では、確率共鳴現象の応用の一つとして、超伝導 RAM システム[2]で消費される電力を確率共鳴現象を用いて低減させることを目指し、メモリシステムにドライバからのレベル信号入力を想定した際の確率共鳴現象を評価するとともにエネルギー消費低減率を調べた。

2. 確率共鳴現象

雑音誘起現象の一つとして確率共鳴現象が挙げられる。この現象はある周波数をもつ入力信号に白色雑音のような広帯域の雑音を加わることで、信号強度が向上する現象である。この現象は後述する双安定回路で観測できる。双安定回路のメモリセルとして用いる rf-SQUID の確率共鳴現象の原理は当日発表する。

3. 確率共鳴現象の評価とドライバの消費電力低減率

図 1 (a) にメモリセルとして用いた rf-SQUID の等価回路図を示す。rf-SQUID の確率共鳴現象の評価について述べる。図 1 (b) に示すように $\Phi_{ex} = 0.5\Phi_0$ の外部磁束がかかっているとき rf-SQUID 内のポテンシャルが二重井戸型の双安定な状態になっている。振幅 Φ_{amp} を持つ矩形波状の外部磁束を加え、入力矩形波が最大値をとっているとき、熱雑音による磁束 Φ_{noise} が加わることで、 $\Phi_{amp} + \Phi_{noise} > \Phi_0$ となり rf-SQUID に磁束が保持される。入力矩形波が最小値をとるとき、熱雑音による磁束 Φ_{noise} が加わることで、 $\Phi_{amp} + \Phi_{noise} < 0$ となり rf-SQUID に保持されていた磁束が失われる。このように入力矩形波 1 周期内で rf-SQUID 内の磁束の入出力が 1 回ずつ行われているときを、磁束の正常入出力と定義する。矩形波を合計 5000 周期入力したときの正常入出力の割合を success rate と定義し、確率共鳴現象の評価の指標とした。図 2 に Φ_{amp} を変数として印加したときの success rate の雑音エネルギー依存性を示す。 $\Phi_{amp} = 0.3\Phi_0$ のとき適切な大きさの熱雑音を加えることで success rate = 1 を得られる。このとき rf-SQUID にかかる磁束は $\Phi_{ex} = 0.5\Phi_0$ と合わせ最大 $0.8\Phi_0$ であるため、ドライバから rf-SQUID メモリセルに印加する電流は、熱雑音による確率共鳴を用いて少なくとも 20% 低減することが可能であり、シミュレーションによってラッチングドライバの出力電

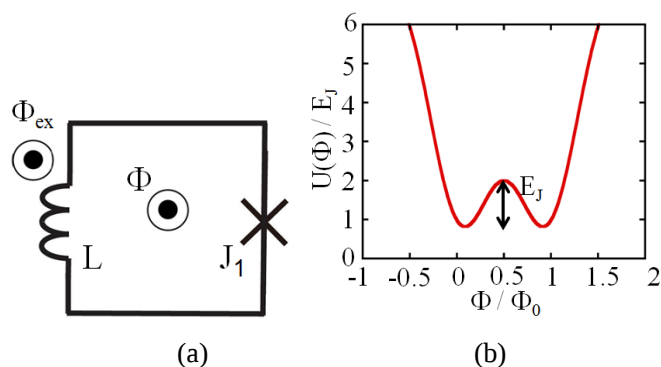


図 1 (a) rf-SQUID の等価回路図。(b) 外部磁束 $\Phi_{ex} = 0.5\Phi_0$ のときの rf-SQUID のエネルギーポテンシャル図。 $L = 151$ nH, $J_1 = 10$ μ A. Φ_0 : 磁束量子。

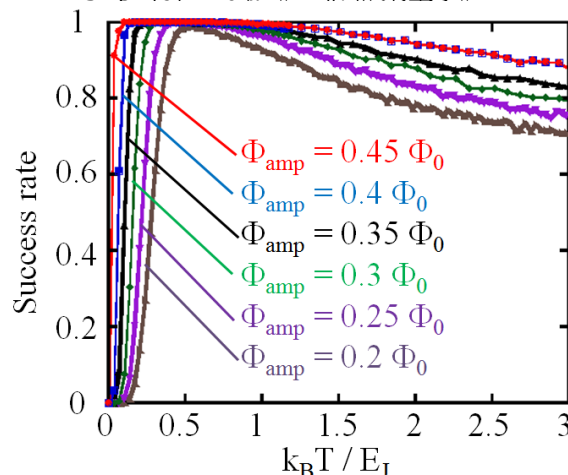


図 2, $\beta_L = 2\pi L_2 J_1 / \Phi_0 = 4.6$ のとき、入力矩形波外部磁束の振幅 Φ_{amp} に対する success rate の雑音エネルギー依存性。 E_J : Josephson エネルギー (約 238K の熱雑音に相当)。

流を 20% 減少させたときの消費エネルギーを見積もり、約 45% の消費エネルギー低減が可能である。実験結果については当日発表する。

4. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 26220904 の助成を受けたものである。本研究に使用されたデバイスは、(独)産業技術総合研究所 (AIST) の超伝導クリーンルーム (CRAVITY) において作製された。

5. 参考文献

- [1] A. Utagawa et al., NOLTA, vol. 2, no. 4, pp. 409-416, Oct. 2011.
- [2] T. Orltpepp et al., IEEE Trans. Appl. Supercond., vol. 24, no. 4, Aug. 2014.